

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-117779

(43)公開日 平成11年(1999) 4月27日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

F I

F 0 2 D 15/02

F 0 2 D 15/02

B

F 0 2 B 75/04

F 0 2 B 75/04

F 0 2 F 3/00

F 0 2 F 3/00

F

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 8 頁)

(21)出願番号

特願平9-282012

(22)出願日

平成9年(1997)10月15日

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72)発明者 伊藤 利光

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

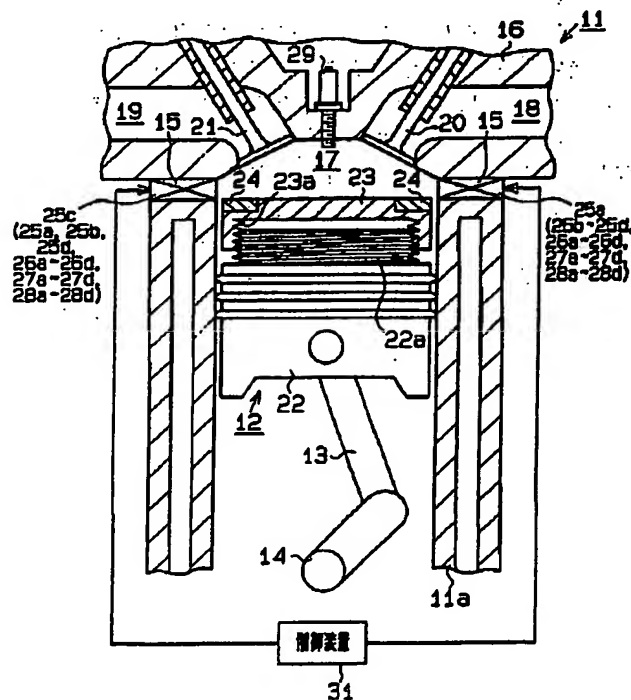
(74)代理人 弁理士 恩田 博宣

(54)【発明の名称】 内燃機関の可変圧縮比機構

(57)【要約】

【課題】より簡単な構成で、燃焼室内の圧縮比をよりの確に可変調整することのできる内燃機関の可変圧縮比機構を提供する。

【解決手段】エンジン11に設けられたピストン12は、ピストン本体22及びヘッド部23から構成されている。ヘッド部23は、自身の雌ねじ部23aがピストン本体22の雄ねじ部22aに螺着されることにより、同ピストン本体22に対して回動可能に接続されている。ヘッド部23の上面には、磁石24が配設されている。また、制御装置31により、エンジン11に設けられたガスケット15内の各電磁石25a～25d、26a～26d、27a～27d、28a～28dに所定のタイミングで通電してヘッド部23を回動させる。そして、ヘッド部23のねじ作用により、ヘッド部23が上下移動されて燃焼室17内の圧縮比が可変される。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ピストンのヘッド部がピストン本体に対してその運動方向に相対移動することにより燃焼室内の圧縮比を可変とする内燃機関の可変圧縮比機構において、

前記ピストンのヘッド部はその周縁に複数の磁石を有して前記ピストン本体に螺着係合されるとともに、前記燃焼室内は通電により磁界を発生する磁界発生機構を備え、

前記磁界発生機構が発生する磁界の誘導に基づく前記ヘッド部の回動によって同ヘッド部がピストン本体に対してその運動方向に相対移動することを特徴とする内燃機関の可変圧縮比機構。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は内燃機関の燃焼室内の圧縮比をその運転状態に応じて可変とする内燃機関の可変圧縮比機構に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に、内燃機関は、燃焼室内の圧縮比を高くすれば、燃焼圧力が高くなり熱効率が上昇して出力が向上する。しかしその反面、上記圧縮比を過剰に高くすると、燃焼圧力が高くなりすぎてノッキングを生じる要因となってしまう。一方、低負荷及び中負荷運転状態と高負荷運転状態とでは燃焼室内で発生する燃焼圧力が異なり、高負荷運転状態の燃焼圧力は、低負荷及び中負荷運転状態での燃焼圧力と比べて高くなる。そのため通常は、上記燃焼室内の圧縮比を低めに設定することにより、高負荷運転状態でのノッキングの発生を防止するようにしている。

【0003】 ところが、このように高負荷運転状態に合わせて燃焼室内の圧縮比を設定することは、必然的に低負荷及び中負荷における出力性能を低下させてしまうことになる。耐ノッキング性能の向上と出力性能の向上とは相容れない関係にあるのが普通である。

【0004】 そこで従来は、例えば特開昭63-186326号公報に記載の可変圧縮比機構のように、上記圧縮比を可変として、耐ノッキング性能及び出力性能の両方を図るようにしている。ちなみに、この可変圧縮比機構においては、ピストンに油圧機構を設け、その油圧機構によりピストンの高さを変えて圧縮比が変更されるようにしている。そのため、同可変圧縮比機構によれば、機関低負荷時あるいは低回転時などには圧縮比を高めて出力を向上させることができるとともに、機関高負荷時あるいは高回転時などには圧縮比を下げてノッキングの発生を防止することができるようになる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このように、圧縮比を変換することで耐ノッキング性能及び出力性能の両方を図ることは可能となるものの、上記従来の可変圧縮比

機構においては、油圧機構を用いてピストンの高さを可変としているためにその構造が複雑であり、コスト高となる。また、温度によって油圧の特性は変化するため油圧特性にバラツキが生じやすく、圧縮比の微妙な調整が困難でもある。しかも、燃焼圧力に抗する油圧を供給し、保持することを可能とする高性能なポンプ並びに油圧回路が必要となる。

【0006】 本発明は、こうした実情に鑑みてなされたものであって、その目的は、より簡単な構成で、燃焼室内の圧縮比をより的確に可変調整することのできる内燃機関の可変圧縮比機構を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明では、ピストンのヘッド部がピストン本体に対してその運動方向に相対移動することにより燃焼室内の圧縮比を可変とする内燃機関の可変圧縮比機構において、前記ピストンのヘッド部はその周縁に複数の磁石を有して前記ピストン本体に螺着係合されるとともに、前記燃焼室内は通電により磁界を発生する磁界発生機構を備え、前記磁界発生機構が発生する磁界の誘導に基づく前記ヘッド部の回動によって同ヘッド部がピストン本体に対してその運動方向に相対移動することをその要旨とする。

【0008】 こうした構成によれば、比較的弱い力でも確実にヘッド部を相対移動させることができるとともに、圧縮比の微調整も容易となる。しかも、油圧を利用した可変圧縮比機構に比べて構成が簡略にもなる。

【0009】

【発明の実施の形態】

（第1実施形態） 以下、本発明を具体化した第1実施形態を図1～図6に従って説明する。

【0010】 図1は本実施形態の可変圧縮比機構を示す断面図であり、図2は同可変圧縮比機構の動作を説明するための概略平面図である。図1に示すように、エンジン11のシリンダブロック11aにはピストン12が往復移動可能に設けられ、ピストン12はコンロッド13を介してエンジン11の出力軸であるクランクシャフト14に連結されている。ピストン12の往復移動は、このコンロッド13によりクランクシャフト14の回転へと変換されるようになっている。

【0011】 また、上記シリンダブロック11aの上端にはガスケット15を介してシリンダヘッド16が設けられ、同シリンダヘッド16と上記ピストン12との間には燃焼室17が形成されている。このシリンダヘッド16には上記燃焼室17と連通する吸気ポート18及び排気ポート19が設けられ、それら吸気ポート18及び排気ポート19には、それぞれ吸気バルブ20及び排気バルブ21が設けられている。これらの吸気バルブ20及び排気バルブ21は、図示しないカムによって開閉駆動されて、吸気ポート18と燃焼室17及び排気ポート

19と燃焼室17とをそれぞれ連通・遮断する。また、シリンダヘッド16には、点火プラグ29が上記燃焼室17に露出するように配設されている。

【0012】こうした構造を有するエンジン11においては、その動力を得るために、上記燃焼室17内において、吸気・圧縮・燃焼・膨張・排気の4行程が行われる。まず、吸気行程において、上記吸気バルブ20の開弁及び上記ピストン12の下動によって、混合ガスが上記吸気ポート18を通して燃焼室17内に吸入される。次に、圧縮行程において、吸気バルブ20の開弁とともに下死点に達したピストン12が上動し、これにより燃焼室17の容積は小さくなり、同燃焼室17内に充満した混合ガスが圧縮される。続く燃焼・膨張行程において、上記点火プラグ29から火花が発火され、圧縮された混合ガスに点火される。これにより燃焼室17内の混合ガスは爆発し、同混合ガスの燃焼膨張によってピストン12が下死点方向に押し下げられ、エンジン11に動力が付与される。そして、燃焼後の混合ガスは、排気行程において、排気バルブ21の開弁及びピストン12の上動に伴い、排気ガスとして排気ポート19から送り出される。

【0013】一方、上記ピストン12は、ピストン本体22及びヘッド部23から構成されている。ピストン本体22の上端には雄ねじ部22aが形成され、ヘッド部23の下端には同雄ねじ部22aと対応する雌ねじ部23aが形成されている。そして、上記ヘッド部23は、該雌ねじ部23aが上記雄ねじ部22aに螺着されることにより、上記ピストン本体22に対して回動並びに上下動可能に係合されている。さらに、該ヘッド部23の上面には、磁石（永久磁石）24が配設されている。詳しくは図2に示すように、この磁石24は、上記ヘッド部23の上面外縁にそれぞれ90°の間隔をもって4つ配設されている。このとき、磁石24の隣り合うもの同士は、上記ヘッド部23の外縁に向かう極性が異なるように配設される。すなわち、磁石24a、24cはN極、磁石24b、24dはS極になるように配設される。

【0014】また、上記ガスケット15には、これも図2に示すように、磁界発生機構としての電磁石25a～25d、26a～26d、27a～27d、28a～28dが、それぞれ等間隔に配設されている。電磁石25a～25dに巻装された各コイルは、それぞれ直列に結線され、制御装置31に接続されている。これと同様に、他の電磁石26a～26d、27a～27d、28a～28dに巻装された各コイルもそれぞれ直列に結線されて制御装置31に接続されている（図示略）。なお、上記各電磁石25a～25d、26a～26d、27a～27d、28a～28dの各コイルは、同各コイルに対して図2に示す矢印方向に電流Iを通電した際に、電磁石25a～28a、25c～28cの上記ヘッ

ド部23側にS極、電磁石25b～28b、25d～28dの上記ヘッド部23側にN極が励磁されるように巻線されている（電磁石26a～26d、27a～27d、28a～28dについては図示略）。

【0015】次に、このように構成された本実施形態の可変圧縮比機構の動作及び作用について、図2～図6を併せ参照しながら説明する。なお、図3(a)、(b)は本実施形態の可変圧縮比機構の動作状態を模式的に示す概略図であり、図4は各電磁石に対する通電タイミングを示すタイムチャートであり、図5はヘッド部の移動量を模式的に示す概略図である。

【0016】まず、図2に示すように、上記制御装置により、上記制御装置31から上記電磁石25a～25dの各コイルに同図に示す矢印方向に電流Iを通電する。これにより、該電磁石25a、25cの上記ヘッド23側にはS極が励磁され、電磁石25b、25dの上記ヘッド23側にはN極が励磁される。そのため、上記ピストン12の上死点付近の所定クランク角度において、電磁石25a、25cに上記各磁石24a、24cが引き寄せられ、電磁石25b、25dに上記各磁石24b、24dが引き寄せられる。

【0017】次に、上記制御装置31により、上記電磁石25a～25dの各コイルへの通電から上記電磁石26a～26dの各コイルへの通電に切り換える。これにより、図3(a)に示すように、電磁石26a、26cの上記ヘッド23側にはS極が励磁され、電磁石26b、26dの上記ヘッド23側にはN極が励磁される。そのため、電磁石26a、26cに上記各磁石24a、24cが引き寄せられ、電磁石26b、26dに上記各磁石24b、24dが引き寄せられようとする。その結果、上記ヘッド部23は、同図3(a)に示す矢印方向に回動（図中右回転）し、図3(b)に示すように、上記各磁石24a～24dが上記各電磁石26a～26dに対応する位置に移動する。

【0018】続いて、図4に示すように、同様に上記各電磁石27a～27d、28a～28dへと通電を順次切り換えていくと、通電によって励磁された電磁石に上記各磁石24a～24dが引き寄せられ、上記ヘッド部23が回動する。すなわち、同図4に示すように、上記各電磁石25a～25dの各コイルから各電磁石28a～28dの各コイルに順番に通電していくことによって、上記ヘッド部23は、図3(a)、(b)に示す矢印方向に回動（図中右回転）する。

【0019】そして、上記電磁石28a～28dの各コイルへの通電によって、上記磁石24aが電磁石28a、28cの位置、上記磁石24bが同電磁石28b、28dの位置に移動した後は、図4のポイントPに示すように、上記電流Iの通電方向を逆にして、再び上記電磁石25a～25dの各コイルへの通電に切り換える。これにより、上記各磁石24b、24dが上記電磁

石25c, 25aに引き寄せられ、上記各磁石24a, 24cが同電磁石25b, 25dに引き寄せられて、上記ヘッド部23は引き続き右回転する。また、上記各電磁石25a~25d, 26a~26d, 27a~27d, 28a~28dの各コイルへの通電順序を逆にすれば、該ヘッド部23は同図中左回転する。すなわち、こうした上記ヘッド部23を回動させるための動作原理は、ステッピングモータの動作原理と同等である。

【0020】このように、上記ヘッド部23は上記各電磁石25a~25d, 26a~26d, 27a~27d, 28a~28dの各コイルへの通電によって回動し、図5に示すように、同ヘッド部23の雌ねじ部23aと上記ピストン本体22の雄ねじ部22aとのねじ作用により、ヘッド部23の高さが変更される。すなわち、該ヘッド部23は、同ヘッド部23が右回転したときに低くなり、左回転したときに高くなる。そのため、燃焼室17内の圧縮比はヘッド部23の高さ方向への移動によって変更される。例えば、上記ヘッド部23が図5に示す2点鎖線の位置から高さhだけ下方に移動すると、この高さh分だけ上死点における燃焼室17内の容積が増えるため、同燃焼室17内の圧縮比が低くなる。

【0021】こうして可変とする上記燃焼室17内の圧縮比は、図6のマップに示すように、エンジン回転数NE及び吸気圧力PMから最適な圧縮比εが求まる。したがって、上記ヘッド部23は、上記制御装置31により、そのときのエンジン回転数NE及び吸気圧力PMに基づく最適な圧縮比εとなる位置に移動される。

【0022】以上詳述したように、本実施形態によれば以下の効果が得られるようになる。

・燃焼室17内の圧縮比を、エンジン11のエンジン回転数NE及び吸気圧力PM、すなわちエンジン11の運転状態に応じて最適な圧縮比εに可変設定することができる。しかも、ピストン12のヘッド部23の高さ方向の移動は、同ヘッド部23とピストン本体22とのねじ作用によって行われる。そのため、比較的弱い力でもヘッド部23をピストン本体22に対して確実に相対移動させることができる。また、ヘッド部23の回動量に対して、同ヘッド部23の高さ方向の移動量は少ないため、燃焼室17内の圧縮比の微調整も容易に行うことができる。

【0023】・燃焼室17内の圧縮比を可変とするための構成が、ステッピングモータの動作原理と同等の原理に基づいているため、油圧を利用した従来の可変圧縮比機構と比べて構成を簡略にすることができ、製造コストの低減を図ることができる。また、該従来の可変圧縮比機構と比べて応答性もよいため、所望の圧縮比へ的確に変更することができる。

【0024】・燃焼室17内の圧縮比を可変とするための構成が、ステッピングモータの動作原理と同等の原理に基づいているため劣化の問題がなく、メンテナンスフ

リーにすることができる。

【0025】(第2実施形態)次に、本発明を具体化した第2実施形態を図7に従って説明する。なお、本実施形態において、上記第1実施形態と同等の構成をなす部材については、同じ符号を付してその説明を省略する。

【0026】図7に示すように、本実施形態において上記第1実施形態と異なる点は、上記各電磁石25a~25d, 26a~26d, 27a~27d, 28a~28dが、上記ガスケット15と、上記シリンダブロック11aとの間に設けられている点である。

【0027】こうした構成によれば、上記第1実施形態と同等の作用及び効果に加え、上記ピストン12の上死点付近でなくとも上記ヘッド部23を回動させることができるようになる。そのため、広範囲のクランク角度にて上記燃焼室17内の圧縮比を可変とすることができ、したがって、急激な運転状態の変化時においても即座に所望の圧縮比に変更することが可能となる。

【0028】なお、上記各実施形態は以下のように変更してもよく、その場合でも同様の作用および効果を得ることができる。・上記各実施形態では、ガスケット15または同ガスケット15とシリンダブロック11aとの間に、総計16個の各電磁石25a~25d, 26a~26d, 27a~27d, 28a~28dを設けたが、これら各電磁石の数を増減する。こうして該電磁石の数を増やした場合には、上記ヘッド部23の回動量をより微妙に制御することが可能となり、上記燃焼室17内の圧縮比をより微妙に制御することができる。また、上記電磁石の数を減らした場合には、上記磁界発生機構の製造が容易になるとともに、1ステップでの上記ヘッド部23の回動量が大きくなるため、上記燃焼室17内の圧縮比を急激に変更させる際に応答性を向上させることができるようになる。

【0029】・上記ピストン本体22の雄ねじ部22a及び上記ヘッド部23の雌ねじ部23aのピッチを変更する。こうしたピッチを小さくすれば上記燃焼室17内の圧縮比を微妙に制御することが可能となり、同ピッチを大きくすれば、上記雄ねじ部22a及び雌ねじ部23aの製造が容易になるとともに、上記燃焼室17内の圧縮比を急激に変更させる際に応答性を向上させることができるようになる。

【0030】・上記第1及び第2実施形態においては、燃焼室17内の圧縮比の制御が、図6に示すエンジン回転数NE及び吸気圧力PMに基づいて制御される。換言すれば、上記第1及び第2実施形態における燃焼室17内の圧縮比は、エンジン回転数NE及び吸気圧力PMのみに基づいて制御され、他のノッキング発生要因に基づく制御はされていない。すなわち、上記各実施形態において設定される圧縮比の設定値は、他のノッキング発生要因が最もノッキングを発生しやすい条件下においてもノッキングを発生しないようにするためのマージンを含

んだ値に設定されている。こうした他のノッキングの発生要因には上記エンジン 11 の水温 THW も含まれ、通常、上記エンジン 11 の始動直後等の機関低温時、すなわち上記水温 THW が低いときにはノッキングが発生しにくい。そこで、図 8 に示すように、上記エンジン 11 に備え付けられた水温センサ（図示略）によって検出される同エンジン 11 の水温 THW に基づく圧縮比 $\Delta \epsilon 1$ を、上記各実施形態にてエンジン回転数 NE 及び吸気圧力 PM に基づいて求まる圧縮比 ϵ に補正值として付与し、 $\epsilon + \Delta \epsilon 1$ となる圧縮比に制御する。すなわち、上記燃焼室 17 内の圧縮比の設定値を、エンジン 11 の水温 THW に伴って変化するノック限界を学習した値に設定するように制御する。このように、上記エンジン 11 の温度状態に応じて圧縮比を設定すれば、特に同エンジン 11 の低温時には、ノッキングが発生することなくエンジン 11 の出力性能をより向上させることができるようになる。しかも、該エンジン 11 の低温時に該圧縮比を高く設定すると熱効率が上昇するため、暖気運転時間を短縮することができる。

【0031】・上述したように、上記第 1 及び第 2 実施形態における燃焼室 17 内の圧縮比は、エンジン回転数 NE 及び吸気圧力 PM のみに基づいて制御され、他のノッキング発生要因に基づく制御はされていない。こうした他のノッキングの発生要因には上記エンジン 11 に使用する燃料のオクタン価も含まれる。そこで、上記エンジン 11 にノックセンサを配設し、上記エンジン 11 の暖機運転後、スロットルバルブ全開状態（WOT；Wide Open Throttle）運転状態でのノッキング発生状態から燃料のオクタン価を推測し、図 9 に示すように、その推測されたオクタン価に応じた圧縮比 $\Delta \epsilon 2$ を上記各実施形態にてエンジン回転数 NE 及び吸気圧力 PM に基づいて求まる圧縮比 ϵ に補正值として付与し、 $\epsilon + \Delta \epsilon 2$ となる圧縮比に制御する。すなわち、上記燃焼室 17 内の圧縮比の設定値を、エンジン 11 に用いる燃料のオクタン価に伴って変化するノック限界を学習した値に設定するように制御する。このようにすれば、エンジン 11 の燃料として一般に言われる「ハイオクガソリン」を用いた際には、出力性能をより向上させることができる。また、「ハイオクガソリン」からオクタン価の低い「レギュラーガソリン」に変更した際には、「ハイオクガソリン」使用時の圧縮比から「レギュラーガソリン」使用時の圧縮比に変更することでノッキングの発生を確実に防止することができる。

【0032】・上述したように、上記第 1 及び第 2 実施形態における燃焼室 17 内の圧縮比は、エンジン回転数 NE 及び吸気圧力 PM のみに基づいて制御され、他のノッキング発生要因に基づく制御はされていない。こうした他のノッキングの発生要因には上記燃焼室 17 内における点火時期も含まれる。通常、点火時期にはエンジンから最大トルクを引き出す点火時期（MBT；Minimum

Spark Advance for Best Torque) があり、同点火時期をこの MBT に設定することが理想である。そこで、上記各実施形態にてエンジン回転数 NE 及び吸気圧力 PM に基づいて求まる圧縮比 ϵ において、上記点火時期を MBT に設定してもまだノッキングが発生しない場合には、同圧縮比 ϵ をさらに高くしていき、ノック限界ギリギリまで圧縮比が高くなるように制御する。すなわち、上記燃焼室 17 内の圧縮比の設定値を、エンジン 11 の点火時期に伴って変化するノック限界を学習した値に設定するように制御する。このようにすれば、上記エンジン 11 の出力性能をより向上させることができるようになる。

【0033】なお、上述した水温 THW に基づく圧縮比の制御、オクタン価に基づく圧縮比の制御、及び点火時期に基づく圧縮比の制御をそれぞれ同時に行うようにすれば、上記エンジン 11 の出力性能をより向上させることができるようになる。また、圧縮比を可変させるための機構がステッピングモータの動作原理と同等の原理に基づいているため、こうした圧縮比の制御を行う際に応答性がよく、上記燃焼室 17 内の圧縮比を的確に可変させることができる。

【0034】・上記各実施形態では、磁界発生機構としての各電磁石 25a ~ 25d、26a ~ 26d、27a ~ 27d、28a ~ 28d には、図 2 に示すように、各コイルが一つの電磁石に対して一方向に巻装されているが、これをハイブリッド型ステッピングモータと同様に、一つの電磁石に対してコイルを両方向に巻装する。そして、通電方向を一定にして、それら各方向に巻装された上記コイルの一方向側のみに上記電流 I を通電するようにし、図 3 に示すポイント P にて他の一方側への通電に切り換えるようにする。すなわち、磁界発生機構の動作原理をハイブリッド型ステッピングモータと同等にする。

【0035】以上、各実施形態について説明したが、各実施形態から把握できる請求項以外の技術的思想について、以下にそれらの効果と共に記載する。

(イ) 請求項 1 に記載の内燃機関の可変圧縮比機構において、前記内燃機関のノック限界を学習した圧縮比に対応して、前記ヘッド部の前記ピストン本体に対する相対移動を制御することを特徴とする内燃機関の可変圧縮比機構。

【0036】このようにすれば、上記内燃機関における水温、使用燃料のオクタン価、及び点火時期から、ノック限界を越えない最適な圧縮比へよりの的確に制御することができる。

【0037】

【発明の効果】請求項 1 に記載の発明によれば、比較的弱い力でも確実にヘッド部を相対移動させることができるとともに、圧縮比の微調整も容易にすることができる。しかも、油圧を利用した可変圧縮比機構に比べて構

成を簡略にすることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の可変圧縮比機構を示す断面図。

【図2】第1実施形態の可変圧縮比機構の電氣的構成を模式的に示す平面図。

【図3】第1実施形態の可変圧縮比機構の動作態様を模式的に示す概略図。

【図4】第1実施形態の可変圧縮比機構の各電磁石に対する通電態様を示すタイムチャート。

【図5】第1実施形態の可変圧縮比機構のヘッド部の移動量を模式的に示す概略図。

【図6】第1実施形態によって可変設定される圧縮比の設定態様を示す2次元マップ。

【図7】第2実施形態の可変圧縮比機構を示す断面図。

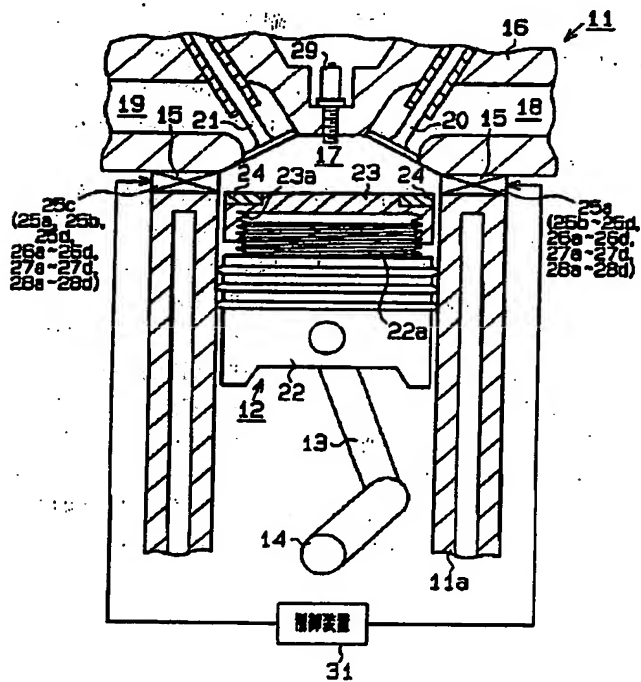
【図8】他の実施形態により補正される水温と圧縮比との関係を示すグラフ。

【図9】他の実施形態により補正される燃料オクタン価と圧縮比との関係を示すグラフ。

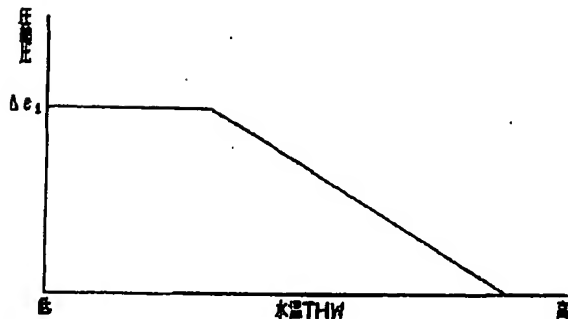
【符号の説明】

11…エンジン、12…ピストン、15…ガスケット、17…燃焼室、22…ピストン本体、22a…雄ねじ部、23…ヘッド部、23a…雌ねじ部、24…磁石、25a～25d、26a～26d、27a～27d、28a～28d…電磁石（磁界発生機構）、31…制御装置。

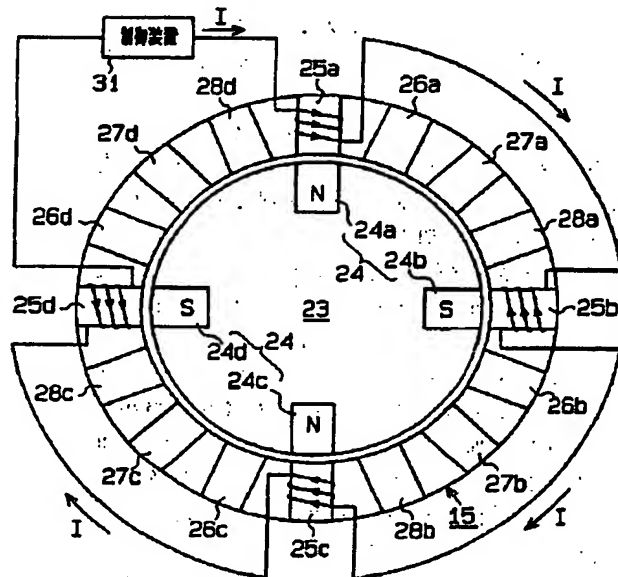
【図1】



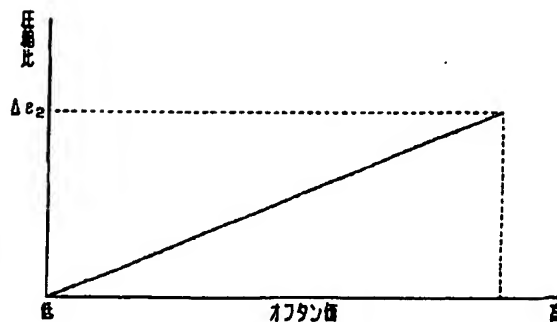
【図8】



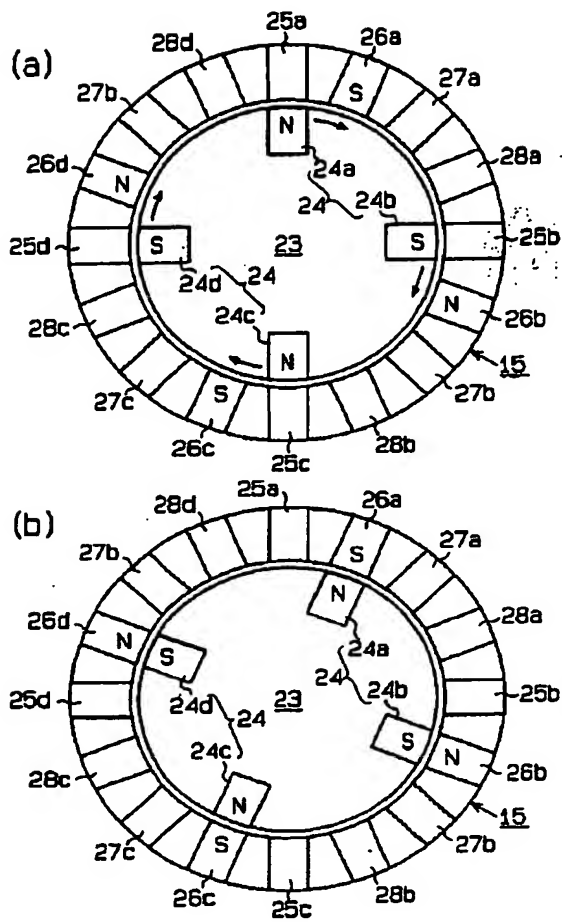
【図2】



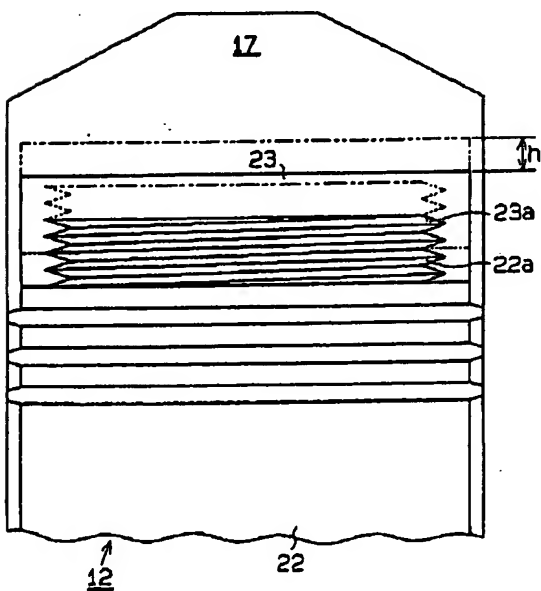
【図9】



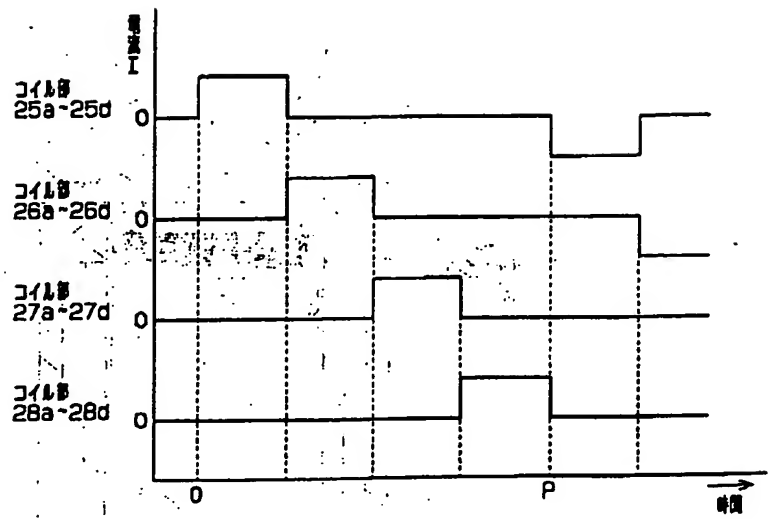
【図3】



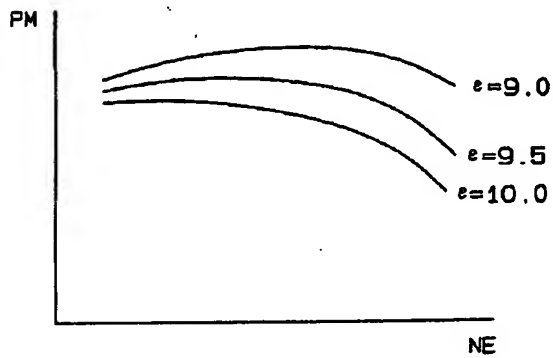
【図5】



【図4】



【図6】



【図7】

